



UNIVERSIDADE DO MINHO
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA E RECURSOS DO MAR
ENGENHARIA EM ENERGIAS RENOVÁVEIS

RELATÓRIO DE TRABALHO DE FINAL DE CURSO

Ano letivo 2018/2019

**ANÁLISE DE UM CARREGADOR DE TELEMÓVEL
UTILIZANDO CÉLULAS FOTOVOLTAICAS**

Autor: Rayan Duarte Helal

Orientador: Engenheiro José Pedro Fonseca

Mindelo, São Vicente

2019



UNIVERSIDADE DO MINHO
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA E RECURSOS DO MAR
ENGENHARIA EM ENERGIAS RENOVÁVEIS

RELATÓRIO DE TRABALHO DE FINAL DE CURSO

Ano letivo 2018/2019

**ANÁLISE DE UM CARREGADOR DE TELEMÓVEL
UTILIZANDO CÉLULAS FOTOVOLTAICAS**

Autor: Rayan Duarte Helal

Orientador: Engenheiro José Pedro Fonseca

Mindelo, São Vicente

2019

RAYAN DUARTE HELAL

**ANÁLISE DE UM CARREGADOR DE TELEMÓVEL
UTILIZANDO CÉLULAS FOTOVOLTAICAS**

Projeto de conclusão do curso de licenciatura de
Engenharia em Energias Renováveis da
Universidade do Mindelo.

Orientador: Engenheiro José Pedro Fonseca

Mindelo, São Vicente

2019

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho à minha estimada mãe, Regaldina Ascensão Duarte, pelo apoio que me tem dado durante este percurso, e à minha querida filha Ashlee Helal, por ser a menina dos meus olhos.

AGRADECIMENTOS

Cada dia é uma dádiva, uma oportunidade de transformar os nossos sonhos em realidade desta forma expresso com um enorme apreço à minha mãe por tornar todos os meus sonhos possíveis.

Ao Sr. João Baptista Gomes e o Sr. Zénito Silva um especial agradecimento, pela disponibilidade e paciência que tiveram durante esse período, por todos os níveis de ensinamento que me transmitiram e por me terem ajudado a crescer e a progredir ao longo dessa curva ascendente de aprendizagem.

Gostaria de dirigir também os meus sinceros agradecimentos ao meu orientador, o Professor Engenheiro José Pedro Fonseca.

A todos, um muito obrigado!

RESUMO

O presente projeto relata a conversão da energia do sol em eletricidade, para a montagem de um carregador de bateria de telemóvel autónomo.

Desta forma, em localidades onde haja rede das operadoras de telecomunicações, mas a demanda da energia convencional é inexistente ou limitada, a luz do sol pode ser utilizada como energia alternativa para proporcionar recargas das baterias dos telemóveis, fazendo com que a utilidade dos mesmos não fique comprometida.

O trabalho engloba os vários tipos de células fotovoltaicas, seu funcionamento, os diversos tipos de reguladores de tensão de saída e os tipos de controladores de carga destas células.

Palavras-chave: Módulos fotovoltaicos, reguladores de tensão, energia alternativa, controladores de carga.

ABSTRACT

This project reports the conversion of solar energy into electricity for the installation of an autonomous mobile phone battery charger. Therefore, in places where there is a network of telecommunication operators, but the demand for conventional energy is non-existent or limited, sunlight can be used as an alternative energy to provide recharges of the batteries of mobile phones, so that their usefulness is not compromised. The work encompasses the various types of photovoltaic cells, their operation, the various types of output voltage regulators and the types of charge controllers of these cells.

Keywords: Photovoltaic modules, voltage regulators, alternative energy, load control;

ABREVIATURAS

A - Ampere

Ah - Ampere-hora

C.A - Corrente alternada

C.C - Corrente continua

g - Gramas

I - Corrente

I_{MP} - Corrente de potência máxima

I_{SC} - Corrente de circuito aberto

Kg - Quilogramas

mAh – Mili-Ampére Hora

mm - milímetro

MPPT - Maximum power point tracking

NiCd - Níquel cadmio

NiMH - Níquel hidreto metálico

°C - Graus Celcius

Off-grid - Isolado da rede

On-grid - Conetado na rede

P_{MP} – Potência máxima dada pela potência de pico

PV - Fotovoltaico

PWM - Pulse with modulation

SFCR Sistema Fotovoltaico Conetado na Rede

SFI - Sistema Fotovoltaico Isolado

STC - Condições Standard do Teste

t(h) - Intervalo de tempo

V - tensão

V (unidade) - Volts

V_{MP} - Tensão de potência máxima

V_{OC} - Tensão de circuito aberto

W - Watt

W/m²- Watt por metro quadrado

Wh - Watt-hora

Wh/dia - Watt-hora Dia

W_p – Watt-pico

η - Eficiência

W_p – Watt-Pico

KW_p, - Kilowatt-Pico

MW_p – Megawatt-Pico

GW_p – Gigawatt-Pico

ÍNDICE

INTRODUÇÃO	16
1. OBJETIVOS	17
1.1 Objetivo Geral	17
1.2 Objetivos específicos	17
2. METODOLOGIA	18
3. ESTRUTURA DO TRABALHO	19
4. JUSTIFICATIVA	20
CAPÍTULO I	21
5. RADIAÇÃO SOLAR	21
5.1 Radiação Solar ao nível do solo	22
5.2 Células fotovoltaicas	23
5.3 Tipos de Células fotovoltaicas	24
5.3.1 Silício monocristalino (m-Si)	24
5.3.2 Silício policristalino (p-Si)	25
5.3.3 Silício Amorfo hidrogenado (a-Si:H)	25
5.4 Efeito fotovoltaico	26
5.5 Efeito fotovoltaico na junção P-N	27
5.6 Módulos fotovoltaicas	28
5.7 Características elétricas dos módulos fotovoltaicos	29
5.8 Efeito da radiação solar e da temperatura	31
5.9 Díodo de Desvio (by-pass)	32
5.10 Díodo de bloqueio	33
5.11 Caixa de conexões	33
5.12 Terminais	34
5.13 Sistemas fotovoltaicos	35
5.14 Classificação dos sistemas fotovoltaicos	35
5.14.1 Sistemas isolados (Off-Grid)	35
5.14.2 Sistemas conectados à rede convencional (On-Grid)	36
5.14.3 Sistemas híbridos	36

CAPÍTULO II	37
6. CONTROLADORES DE CARGA.....	37
6.1 Formas de controlo de carga	38
6.1.1 Controladores Série	38
6.1.2 Controladores paralelo (Shunt)	39
6.1.3 Controladores com MPPT	40
CAPÍTULO III	41
7. BATERIAS.....	41
7.1 Baterias não recarregáveis.....	42
7.2 Baterias recarregáveis	43
7.3 Baterias de chumbo-ácido	43
7.4 Baterias Níquel-Cádmio e Níquel-hidreto metálico.....	44
7.5 Baterias de Lí-ion	44
7.6 Sulfatação	44
7.7 Desempenho e características das baterias.....	45
CAPÍTULO IV	46
8. INVERSORES	46
8.1 Características dos inversores	46
8.2 Classificação dos inversores.....	47
8.3 Dispositivos semicondutores de chaveamento nos inversores	48
8.3.1 Comutação	49
8.3.2 Condução	49
CAPÍTULO V	50
9. DIMENSIONAMENTO DO PROTÓTIPO	50
9.1 Demanda da energia diária a fornecer à carga (Wh).....	50
9.2 Estimativa do fator de perdas	51
9.3 Potência do gerador fotovoltaico.....	51
9.3.1 Seleção do módulo	53
9.4 Dimensionamento do controlador de carga.....	53
9.4.1 Seleção do controlador carga.....	54
9.5 Dimensionamento das baterias.....	54
9.5.1 Seleção da Bateria	55

9.5.2 Cálculo da capacidade da bateria.....	57
10. MONTAGEM E TESTE DO PROTÓTIPO	58
CAPÍTULO VI.....	61
11. ANÁLISE DA VIABILIDADE ECONÓMICA DO PROTÓTIPO	61
11.1. Custo do projeto.....	61
11.2. Viabilidade.....	62
CONCLUSÃO.....	63
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	65

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 – Sistema isolado com armazenamento e carga.....	16
Figura 2 - Espectro da radiação eletromagnética do sol.....	21
Figura 3 - Distribuição espectral da radiação solar	22
Figura 4 - Células de silício monocristalino.....	24
Figura 5 - Células de silício policristalino.....	25
Figura 6 - Células de silício amorfo	25
Figura 7 - Célula solar	26
Figura 8 - Difusão de elétrons na junção P-N.....	27
Figura 9 - Componentes de um módulo fotovoltaico com células de silício cristalino..	29
Figura 10 - Curva característica I-V e curva de potência P-V para um módulo com potência nominal de 100 Watt-pico.....	30
Figura 11 - Definição do factor de forma	30
Figura 12 - Variação de VOC e Isc de acordo com à Irradiância.....	31
Figura 13 - Diagrama de ligação de díodos de desvio nos módulos fotovoltaicos	32
Figura 14 - Díodo de bloqueio evitando o fluxo de corrente da bateria para p módulo, quando o controlador não desempenha esta função.	33
Figura 15 - Caixa de conexões	34
Figura 16 – Terminais MC4	34
Figura 17 - Componentes de um sistema isolado (Off-grid).....	35
Figura 18 - Componentes de um Sistema conectado à rede (On-Grid).....	36
Figura 19 - Controladores de carga	37
Figura 20 - Esquema de funcionamento de um controlador de carga do tipo série	38
Figura 21 - Esquema de funcionamento de um controlador de carga do tipo Shunt.....	39
Figure 22 - Esquema de funcionamento de um controlador com MPPT	40
Figura 23 - Banco de baterias em uma grande central PV	41
Figura 24 – Inversores	46
Figura 25 - Símbolos de componentes utilizados em inversores	48
Figura 26 - a) Formas de onda de Tensão (V) e corrente (I) sobre um dispositivo em chaveamento e condução, e b) Perdas.	49
Figura 27 - Suporte do protótipo	58
Figura 28 - Circuito do sistema	59

TABELAS

Tabela 1 - Radiação solar na cidade do Mindelo (PVGIS, s.d.).....	52
Tabela 2 - Caraterísticas do módulo escolhido.....	53
Tabela 3 - Caraterísticas do controlador de carga escolhido	54
Tabela 4 - Dados técnicos de catálogos de baterias recarregáveis.	55
Tabela 5 - Caraterísticas da bateria selecionada.....	55
Tabela 6 - Coleta de dados da tensão do painel.....	59
Tabela 7 - Testes do protótipo somente com a energia do painel.....	60
Tabela 8 - Custo dos componentes	61
Tabela 9 – Tempo de amortização do custo do projeto.....	62

INTRODUÇÃO

O aproveitamento da energia gerada pelo Sol, inesgotável na escala terrestre de tempo, tanto como fonte de calor quanto de luz, é hoje uma das alternativas energéticas mais promissoras para prover a energia necessária ao desenvolvimento humano (CRESESB, 2014, p47).

Uma das formas de utilização da energia solar é através do Efeito Fotovoltaico, obtido a partir da conversão direta da luz em eletricidade, sendo a célula fotovoltaica, um dispositivo fabricado com material semicondutor, a unidade fundamental desse processo de conversão (CRESESB, 2014, p50).

Com a produção industrial das células fotovoltaicas, em 1956, o desenvolvimento da tecnologia apoiou-se na busca, por empresas do setor de telecomunicações, de fontes de energia para sistemas instalados em localidades remotas. A célula fotovoltaica era, e continua sendo, o meio mais adequado (menor custo, peso e segurança) para fornecer a quantidade de energia necessária para longos períodos de permanência no espaço (CRESESB, 2014, p52).

A pesquisa feita terá o enfoque nos sistemas autónomos de alimentação com fontes puramente fotovoltaicas (sistemas fotovoltaicos isolados), para o desenvolvimento de um carregador solar de bateria de telemóvel. Neste caso, em que se deseja usar equipamentos elétricos, em corrente contínua, independente de haver ou não geração fotovoltaica simultânea, a energia elétrica deve ser armazenada em baterias, ou seja, garantem a geração de carga CC, mesmo quando não há absorção de energia solar nos painéis. Com os avanços recentes da tecnologia de baterias, é comum o uso de controladores de carga de forma a proteger as baterias de danos por sobrecarga ou descarga profunda.

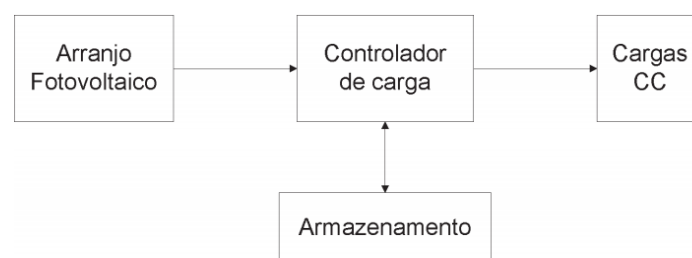


Figura 1 Sistema isolado com armazenamento e carga CC

(Fonte: CRESESB, 2014)

1. OBJETIVOS

1.1 Objetivo Geral

O objetivo principal é estudar, analisar, modelar e montar um carregador de bateria, utilizando como fonte de energia a tecnologia das células fotovoltaicas.

1.2 Objetivos específicos

- Enfatizar o uso da energia fotovoltaica para realização de tarefas cotidianas, mostrando por meio da construção do dispositivo proposto, a acessibilidade, custos, métodos e alternativas possíveis de utilização da energia solar como fonte de alimentação de aparelhos de baixa tensão;
- Avaliar a sustentabilidade do projeto nas esferas económica, social e ambiental, e optar pela melhor relação custo/benefício;
- Analisar a viabilidade técnica e a eficiência energética da produção de um carregador solar;

2. METODOLOGIA

Os procedimentos metodológicos deste projeto integram-se no âmbito da investigação científica com o adjutório de fontes bibliográficas a respeito de sistemas autónomos isolados CC-CC com armazenamento, ou seja, utilizando células fotovoltaicas como fonte de energia sustentável, com auxílio de baterias para possibilitar o carregamento dos aparelhos quando não houver luz do sol, pois as baterias acumularão energia enquanto a bateria do telemóvel não necessitar de carga.

Irá ser efetuado um estudo detalhado dos componentes empregues no circuito elétrico, o dimensionamento do sistema e todos os outros parâmetros relativos à sua montagem. Posteriormente a montagem de um protótipo para a simulação prática do projeto, e de seguida efetuar testes do mesmo.

3. ESTRUTURA DO TRABALHO

Para a estrutura do trabalho, após uma breve introdução ao tema geral, definiu-se o objetivo geral e os específicos e elaborou-se uma metodologia de trabalho, seguido de uma justificativa para o mesmo.

O trabalho está dividido em seis capítulos. No primeiro capítulo, fala-se da radiação solar e dos tipos e classificação dos sistemas fotovoltaicos.

No segundo capítulo, apresenta-se a descrição dos vários tipos de controladores de carga existentes atualmente no mercado.

O capítulo 3 debruça-se sobre o estudo dos diferentes tipos de baterias recarregáveis e não recarregáveis.

No quarto capítulo, apresenta-se o panorama no que concerne aos inversores utilizados em sistemas fotovoltaicos.

No quinto capítulo fez-se um estudo detalhado dos componentes empregues no circuito elétrico, o dimensionamento do sistema e todos os outros parâmetros relativos à montagem do protótipo, e de seguida efetuaram-se os testes práticos do mesmo.

No sexto e último capítulo fez-se a projeção dos custos e os investimentos necessários, seguida de uma análise da viabilidade económica do projeto.

4. JUSTIFICATIVA

O crescimento da tecnologia fotovoltaica no mundo vem se tornando cada vez mais acentuado. Isso porque os sistemas fotovoltaicos são geradores de energia que utilizam a energia do sol como único combustível, devido à abundância e disponibilidade da radiação solar na maioria das regiões do planeta.

Além de se destacar pela adaptabilidade em localidades remotas e isoladas da rede convencional e pela facilidade de instalação, o funcionamento do sistema também é muito simples e requer baixo esforço e custo de manutenção.

A vida útil dos sistemas fotovoltaicos é maior em relação ao retorno do investimento, ou seja, após o período de retorno de investimento, toda a energia gerada pelo sistema pode ser considerada como lucro.

CAPÍTULO I

5. RADIAÇÃO SOLAR

Segundo BlueSol (2016), a produção de energia solar dá-se no seu interior devido às reações nucleares:

“A energia solar é produzida pelas reações nucleares que acontecem no interior do sol a grandes profundidades. Numa dessas reações os átomos de hidrogénio se combinam formando átomos de hélio, e libertam energia. Esta energia viaja do interior do sol até à superfície, e daí irradia em todas as direções.

Essa energia irradiada chega na terra vinda do espaço através das partículas de energia denominadas de fotões. Essas partículas que compõem a luz se deslocam a uma velocidade de 300.000 km/s, por isso demoram cerca de 8 minutos para chegar à terra, que está a aproximadamente 150 milhões de quilómetros do sol”.

(BlueSol, 2016, p.20).

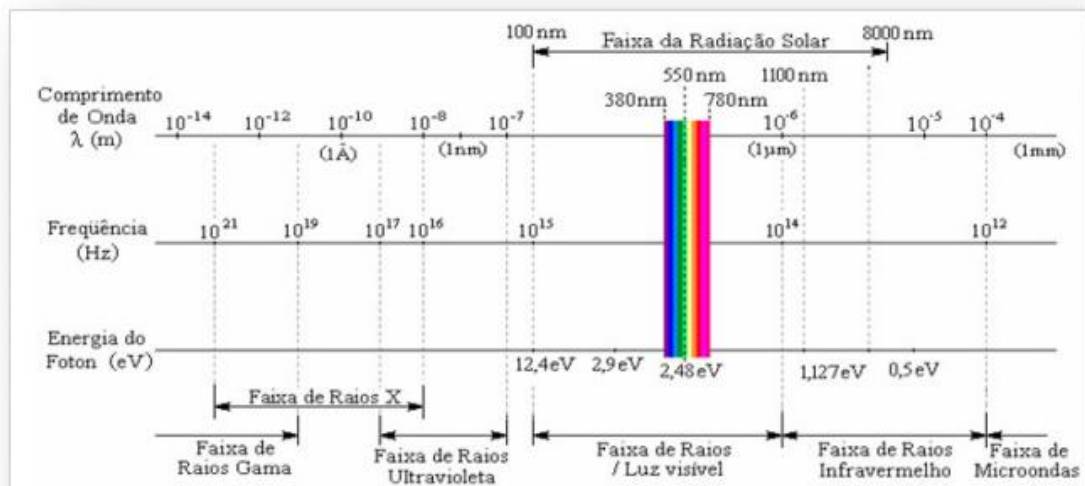


Figura 2 - Espectro da radiação eletromagnética do sol

(Fonte: BlueSol, 2016)

5.1 Radiação Solar ao nível do solo

De acordo com a BlueSol (2016, pp.22-25), a radiação que chega ao chão, no plano horizontal depende da localização geográfica, mas também das condições atmosféricas, assim como das estações do ano. A atmosfera terrestre age como um filtro, que bloqueia uma parte dessa energia, ou seja, apenas uma parte da toda a radiação que incide na camada atmosférica atinge a superfície terrestre devido às perdas geradas através dos efeitos de absorção e dispersão.

A radiação que chega à superfície terrestre vinda diretamente do sol é chamada de Radiação Direta. A luz solar recebida indiretamente, resultante da Ação da difração nas nuvens e outros obstáculos na atmosfera é denominada de componente Difusa. Além dessas duas, temos também a Radiação de Albedo, que é a energia solar refletida da terra, seja por vegetação, construções, etc. A irradiação de Albedo é muito pequena. A soma dessas irradiações é chamada de Irradiação Solar Total.

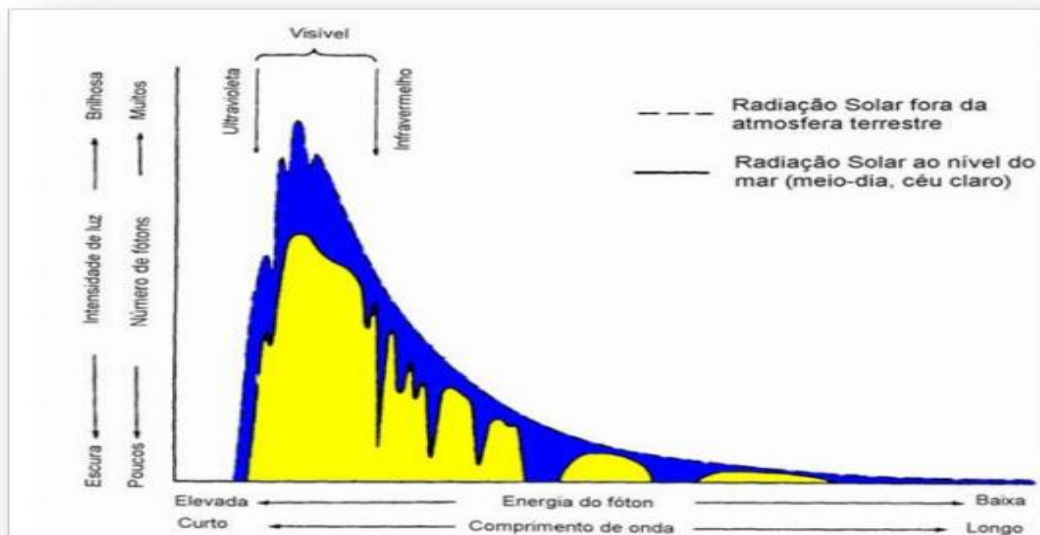


Figura 3 - Distribuição espectral da radiação solar

(Fonte: BlueSol, 2016)

5.2 Células fotovoltaicas

O efeito fotovoltaico foi descoberto por Becquerel¹ em 1839, quando observou que ao iluminar uma solução ácida surgia uma diferença de potencial entre elétrodos imersos nessa solução. Após a descoberta, nos anos 1950 foram fabricadas nos laboratórios Bell, nos Estados Unidos, as primeiras células fotovoltaicas baseadas nos avanços tecnológicos na área de dispositivos semicondutores (CRESESB, 2014,p52).

Uma célula fotovoltaica é a unidade básica de um sistema fotovoltaico, responsável pela conversão da radiação solar em eletricidade. Como uma única célula não é suficiente para gerar potências elétricas elevadas, os fabricantes associam várias células, e as encapsulam para proteção, formando assim um módulo fotovoltaico (BlueSol, 2016.p32).

Diversas tecnologias de fabricação de células fotovoltaicas foram desenvolvidas nos últimos 60 anos e as células fotovoltaicas fabricadas a partir de lâminas de silício cristalino (c-Si), que se subdivide em silício monocristalino (m-Si) e silício policristalino (p-Si), dominam o mercado mundial atualmente (CRESESB, 2014.p103).

Os módulos comerciais diferem entre si por vários fatores, como a capacidade de gerar potencial chamado de potência-pico (Watt-pico), fator de forma e área. E esses valores se alternam de acordo ao tipo de célula fotovoltaica utilizada (BlueSol, 2016,p43).

¹ Alexandre-Edmond Becquerel (1820-1891), cientista francês.

5.3 Tipos de Células fotovoltaicas

Atualmente, a grande maioria das células solares comercializadas são de silício, mas já existem células de outros materiais sendo comercializados (CRESESB, 2014.)

Os principais tipos e células fotovoltaicas produzidas em escala comercial, são classificadas conforme o método de fabricação:

5.3.1 Silício monocristalino (m-Si)

Segundo a BlueSol (2016), uma das formas de fabricação de células de Silício monocristalino, é através do método Czochralski:

“ Durante esse processo, uma semente de cristal de silício é inserida numa caldeira com silício policristalino e, enquanto o conjunto gira lentamente, essa semente é erguida. A semente de silício orienta os átomos do mosto que se cristaliza em uma única formação cristalina, por isso o nome: **monocristal**. Após o corte do cristal em pastilhas, é depositado o fósforo, através de difusão de vapor a temperaturas entre 800-1200°C, e criada a rede de contatos frontais e traseiros que recolherão os elétrons libertados pelo efeito fotovoltaico. Também é feito um tratamento antirreflexo na parte posterior. A eficiência energética dos painéis solares policristalino é tipicamente entre os 15-18%”.

(BlueSol, 2016, p.33).

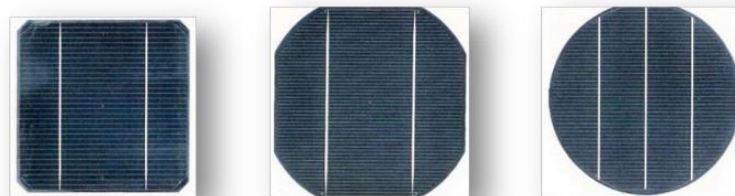


Figura 4 - Células de silício monocristalino

(Fonte: BlueSol, 2016)

5.3.2 Silício policristalino (p-Si)

Segundo Ruther (2004, p.23), o material de partida é o mesmo que para o m-Si, que é fundido e posteriormente solidificado direcionalmente, o que resulta num bloco com grande quantidade de grãos ou cristais, no contorno dos quais se concentram os defeitos que tornam este material menos eficiente do que o m-Si em termos de conversão fotovoltaica. Os processamentos posteriores até se obter um módulo fotovoltaico são semelhantes aos utilizados no caso do m-Si.

A eficiência energética nos painéis solares policristalinos é tipicamente entre os 13-15% (BlueSol, 2016).

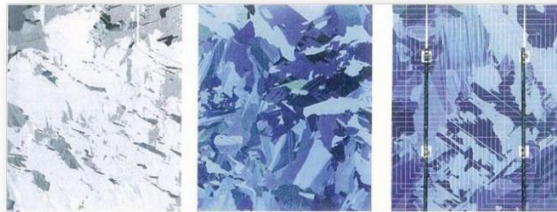


Figura 5 - Células de silício polocristalino

(Fonte: BlueSol, 2016)

5.3.3 Silício Amorfo hidrogenado (a-Si:H)

De acordo com a BlueSol (2016, p.35), o silício amorfo é feito em reatores plasmáticos, através de vaporização química de silano gasoso (SiH_4), que requer temperaturas relativamente baixas, entre 200°C a 250°C. Envés duma estrutura cristalina, o silício amorfo possui uma rede irregular, por isso se formam ligações livres que absorvem hidrogénio até à saturação. A eficiência energética do módulo desse tipo de célula é baixa, varia entre 5-9%,diminuindo nos primeiros 6 a 12 meses de funcionamento, devido à degradação provocada pela luz, até atingir um valor estável.



Figura 6 - Células de silício amorfo

(Fonte: BlueSol, 2016)

Além do silício cristalino e o silício amorfo, as outras tecnologias comercializadas são filmes finos de telureto de cádmio (CdTe), disselto de cobre índio e gálio (CIGS). Por fim, ainda em fase de pesquisa e desenvolvimento, células fotovoltaicas multijunção de alta eficiência e células poliméricas (CRESESB, 2014,p103).

Devido à alta absorção, camadas de menor espessura são, em teoria, suficientes para converter a luz solar em eletricidade. Além disso, esses materiais são mais facilmente dopados e requerem menores temperaturas (entre 200°C e 500°C) para sua fabricação, o que, combinado com a capacidade de automação para a produção em larga escala, pode diminuir o preço final dos módulos (BlueSol, 2016, p. 34).

5.4 Efeito fotovoltaico

Os módulos são compostos por células solares de silício. O cristal de silício puro não possui elétrons livres, necessitando de uma dopagem de outros elementos, por ser um mau condutor elétrico. Mediante a dopagem do silício com fósforo, obtém-se um material com portadores de carga negativa denominada de silício tipo N. Realizando o mesmo processo mas acrescentado boro em vez de fósforo, obtém-se um material com características inversas, ou seja, uma escassez de elétrons ou material com cargas positivas livres denominadas de silício tipo P. (Ramos et al.,2010).

Cada célula solar compõe-se de uma camada fina de material tipo N e outra com maior espessura de material tipo P. Separadamente, ambas as capas são eletricamente neutras. Mas ao serem unidas, exatamente na união P-N, gera-se um campo elétrico devido aos elétrons do silício tipo N que ocupam os vazios da estrutura do silício tipo P. (Ramos et al.,2010).

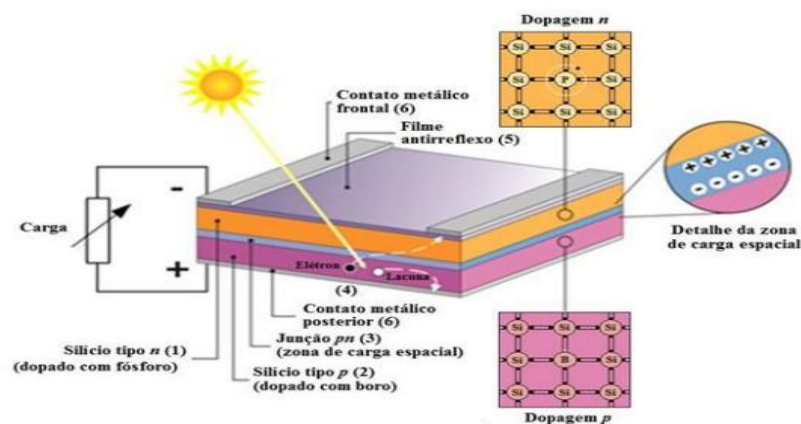


Figura 7 - Célula solar

(Fonte: CRESESB.,2014)

5.5 Efeito fotovoltaico na junção P-N

Quando os fótons colidem com uma célula fotovoltaica, aumenta a sua condutividade, devido à excitação dos eletrões da banda de valência para a banda de condução (BlueSol, 2016). Devido ao campo elétrico gerado na união P-N, os eletrões são orientados e fluem da camada P para a camada N, gera-se assim um fluxo de eletrões (corrente elétrica) na conexão, que variará proporcionalmente á intensidade da luz incidente (Ramos et al., 2010).

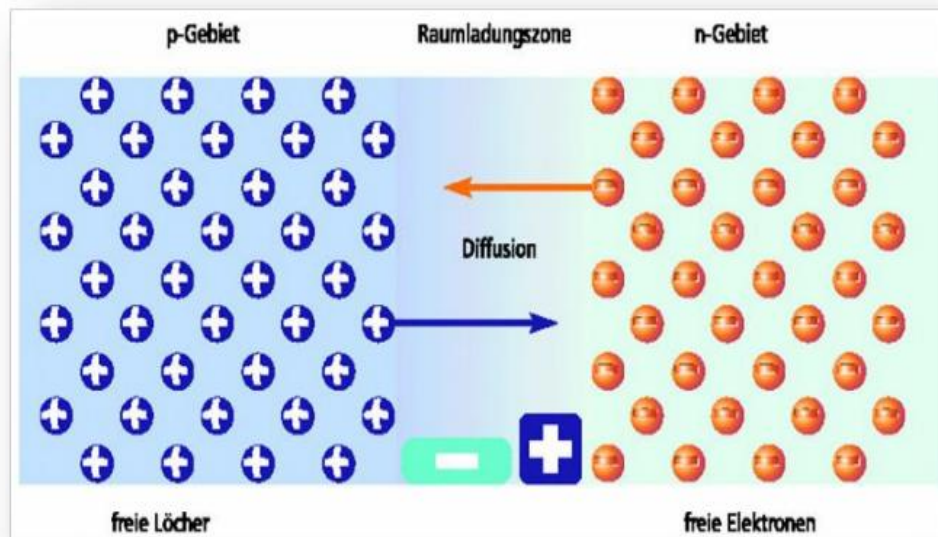


Figura 8 - Difusão de eletrões na junção P-N

(Fonte: BlueSol, 2016)

Esta separação dos portadores de carga pela junção P-N dá origem ao efeito fotovoltaico, que é a conversão de energia luminosa em energia elétrica associada a uma corrente elétrica e uma diferença de potencial. Este efeito na verdade ocorre em qualquer díodo semiconductor que for exposto à radiação, portanto, as células fotovoltaicas podem ser entendidas essencialmente como díodos de grande área otimizados para aproveitamento do efeito fotovoltaico. Cada módulo fotovoltaico é formado por uma determinada quantidade de células conectadas em série. Como se viu anteriormente, ao unir-se a camada negativa de uma célula com a positiva da seguinte, os eletrões fluem através dos condutores de uma célula para a outra. Este fluxo repete-se até chegar à última célula do módulo, da qual fluem para o acumulador ou a bateria (CRESESB, 2014).

Cada eletrão que abandona o módulo é substituído por outro que regressa da bateria. O cabo da interconexão entre módulo e bateria contem o fluxo, de modo que quando um eletrão abandona a última célula do módulo e encaminha-se para a bateria outro eletrão entra na primeira célula a partir da bateria. É por isso que se considera inesgotável um dispositivo fotovoltaico (Ramos et al., 2010).

5.6 Módulos fotovoltaicas

As células de Silício geralmente as mais comercializadas. Individualmente, possuem uma tensão muito baixa. Para se obterem níveis de tensão adequados, as células são conectadas em série, produzindo uma tensão resultante equivalente à soma das tensões individuais de cada célula. Um módulo fotovoltaico é composto por células fotovoltaicas conectadas em arranjos para produzir tensão e correntes suficientes para a utilização prática da energia, ao mesmo tempo em que promove a proteção das células (CRESESB, 2014).

O numero de células conetadas num módulo e seu arranjo, que pode ser série e/ou paralelo depende da tensão de utilização e da corrente elétrica desejadas (CRESESB, 2014). Para se construir um módulo de tensão nominal de 12 V, serão conetados entre 30 e 40 células, geralmente em serie, num processo de conexão que é feita soldando os terminais da parte frontal de uma célula à parte traseira da seguinte, e assim por diante (BlueSol, 2016).

Segundo a CRESESB (2014, p.132), após a soldagem, para garantir a proteção do dispositivo fotoelétrico, é feito o encapsulamento das células fotovoltaicas. O encapsulamento é constituído por variedade de camadas agrupadas de vidro temperado de alta transparência, acetato de etil vinil (EVA) estabilizado para a radiação ultravioleta, células fotovoltaicas e um filme posterior isolante, contido numa moldura de alumínio anodizado com as respetivas conexões elétricas.

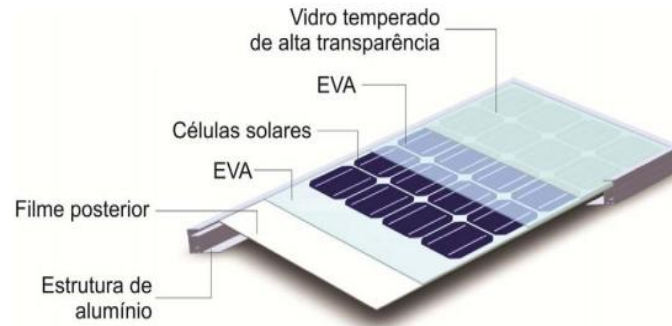


Figura 9 - Componentes de um módulo fotovoltaico com células de silício cristalino

(Fonte: CRESESB, 2014)

5.7 Características elétricas dos módulos fotovoltaicos

Segundo as condições padrão de ensaio, um módulo é geralmente identificado pela sua potência elétrica de pico (Wp), considerando radiação solar de 1000 W/m^2 sob uma distribuição espectral padrão e temperatura de célula de 25°C (CRESESB, 2014).

Os cinco principais parâmetros que especificam o módulo sob dadas condições de radiação são as seguintes:

- Tensão de circuito aberto (V_{OC})
- Corrente de curto-circuito (I_{SC})
- Potencia máxima normalmente dada pela potência de pico (P_{MP})
- Tensão de potência máxima (V_{MP})
- Corrente de potência máxima (I_{MP})

Ainda de acordo com a CRESESB (2014, p.146), a tensão observada num módulo desconetado é a tensão de circuito aberto (V_{OC}). Por outro lado, com o auxílio de um amperímetro mede-se sua corrente de curto-circuito (I_{SC}). Entretanto, estes dados não são suficientemente informativos sobre a potência real do módulo.

Um dos ensaios mais completos para determinar as características elétricas de um módulo fotovoltaico é o traçado de sua curva características I-V, pois com sua análise é possível obter as principais grandezas sob dadas condições de radiação (CRESESB, 2014).

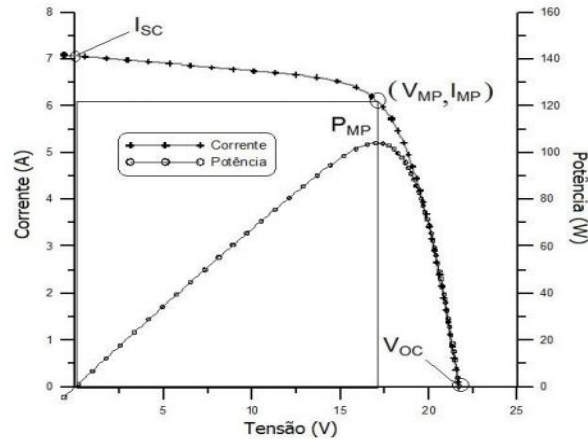


Figura 10 - Curva característica I-V e curva de potência P-V para um módulo com potência nominal de 100 Watt-pico

(Fonte: CRESESB, 2014)

Para cada ponto na curva I-V, o produto corrente-tensão representa a potência gerada para aquela condição de operação. Além da curva I-V, uma curva de potência em função da tensão, chamada de curva P-V, que identifica o ponto com máximo valor de potência P_{MP} , que corresponde ao produto da tensão de máxima potência V_{MP} e corrente de máxima potência I_{MP} . Juntamente com Tensão de circuito aberto V_{OC} e a Corrente de curto circuito I_{SC} Formam as cinco principais características elétricas dos módulos fotovoltaicos (CRESESB,2014).

Outra grandeza importante é o fator forma (FF), que é o conceito teórico que mede a forma da curva definida pelas variáveis I e V (BlueSol, 2016), ou seja, é a grandeza que expressa quanto a sua curva característica se aproxima de um retângulo no diagrama I-V (CRESESB, 2014).

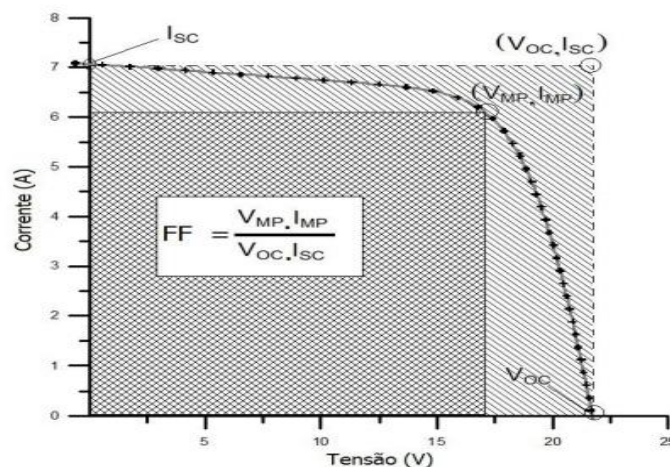


Figura 11 - Definição do facto de forma

(Fonte: CRESESB, 2014)

Quanto melhor a qualidade das células no módulo, mais próxima da forma retangular será sua curva I-V. A área sombreada corresponde ao produto $V_{oc} \times I_{sc}$, valor sempre acima da potência que o módulo pode alcançar. A área duplamente sombreada representa o produto $V_{MP} \times I_{MP}$, ou seja P_{MP} , a potência máxima do módulo. Como na figura acima a relação entre as áreas é o valor de fator de forma (CRESESB, 2014).

5.8 Efeito da radiação solar e da temperatura

De acordo com a CRESESB (2014, p.148), o desempenho dos módulos fotovoltaicos é fundamentalmente influenciado pela radiação solar e pela temperatura das células, ou seja, a corrente de curto-circuito tem um aumento linear com a radiação solar.

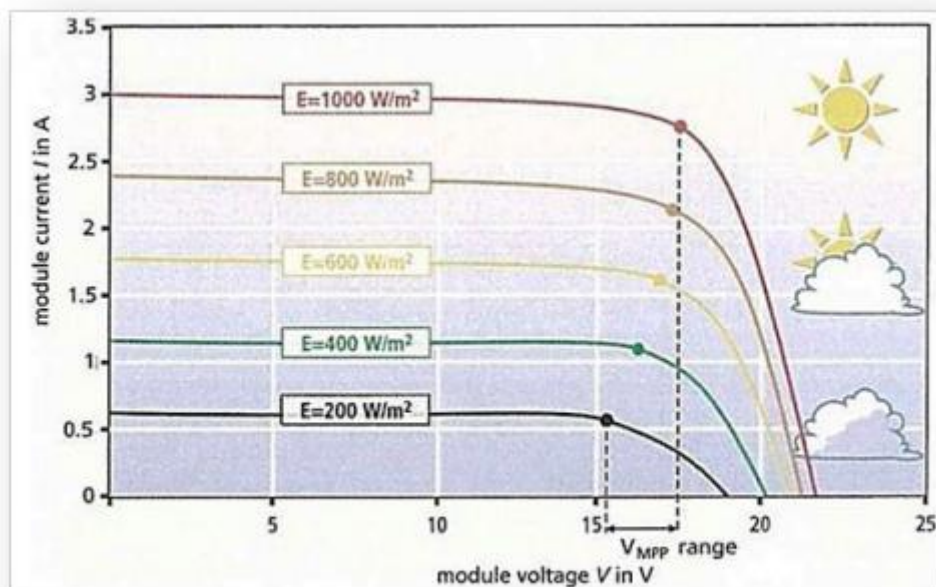


Figura 12 - Variação de VOC e Isc de acordo com à radiação

(Fonte: BlueSol, 2016)

Segundo o gráfico acima, podemos ver que a tensão varia menos que a corrente. Isto porque um fóton energiza um elétron. Quanto maior radiação, maior a quantidade de fótons, e maior a corrente elétrica gerada. As variações de temperatura também têm influência no desempenho das células fotovoltaicas. Como foi dito anteriormente, com o aumento da temperatura, a tensão de circuito aberto cai e a corrente de curto-circuito aumenta (BlueSol, 2016).

5.9 Díodo de Desvio (by-pass)

Segundo a CRESESB (2014, p.160), para evitar a ocorrência de “pontos quentes”, os módulos são normalmente protegidos com díodos de desvio (by-pass)², que oferecem um caminho alternativo para a corrente e, assim, limitam a dissipação de potência no conjunto de células sombreadas. Isso reduz simultaneamente a perda de energia e o risco de dano irreversível das células afetadas, o que inutilizaria o módulo.

Esse tipo de díodos são conetados de maneira inversamente polarizada em relação a um conjunto de células. Esses díodos são conectados a grupos de 18 ou 20 células, de maneira que um módulo de 36 células tem 2 díodos e um módulo de 72 células tem 4 díodos.

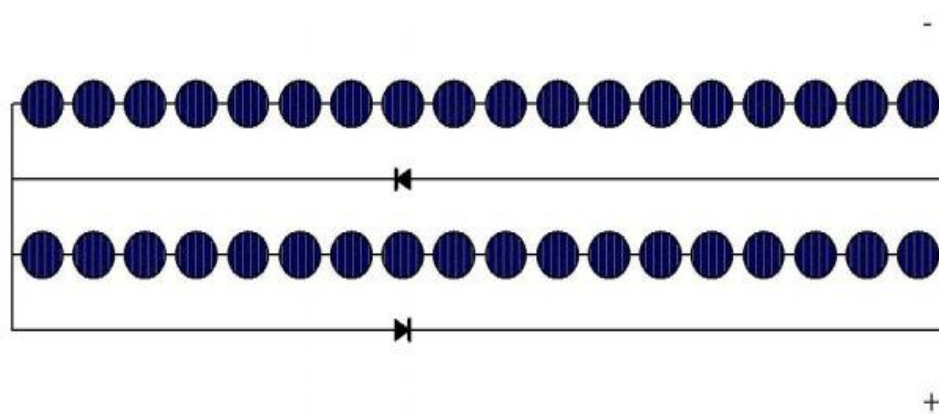


Figura 13 - Diagrama de ligação de díodos de desvio nos módulos fotovoltaicos

(Fonte: CRESESB, 2014)

Os díodos de desvio são, geralmente, montados nos quadros de conexão, juntamente com os fusíveis de fileiras que protegem o cabeamento contra correntes excessivas (BlueSol, 2016).

² Esses díodos são algumas vezes também denominados de “de derivação”, “de passagem”, ou “de passo”.

5.10 Díodo de bloqueio

Outro componente de proteção usado em conexões de módulos ou conjuntos séries de módulos ligados em paralelo, são os díodos de bloqueio. Esses díodos possuem a função de impedir o fluxo de corrente de um conjunto série com tensão maior para um com tensão menor. Em sistemas que utilizam armazenamento, o díodo de bloqueio também pode ser utilizado para impedir descargas noturnas das baterias, pois à noite os módulos podem conduzir uma corrente reversa, que, apesar de pequena, contribui para a descarga das baterias (CRESESB,2014).

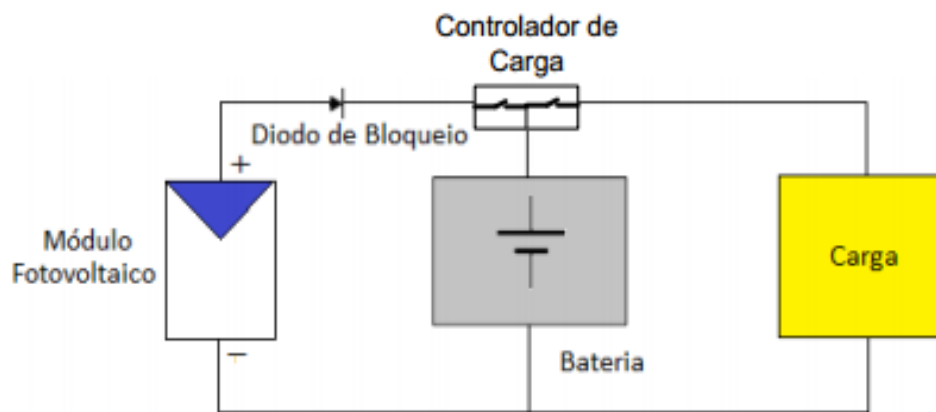


Figura 14 - Díodo de bloqueio evitando o fluxo de corrente da bateria para o módulo, quando o controlador não desempenha esta função.

(Fonte: CRESESB, 2014)

5.11 Caixa de conexões

Na parte posterior dos módulos normalmente há uma caixa de conexões, onde são abrigados os díodos by-pass, apresentados anteriormente na figura 13, e as conexões dos conjuntos em série. A figura 15 mostra um exemplo do interior de uma caixa de conexões de um módulo de 60 células, sendo que cada díodo de desvio está conectado a 20 células em série (CRESESB, 2014, p155).

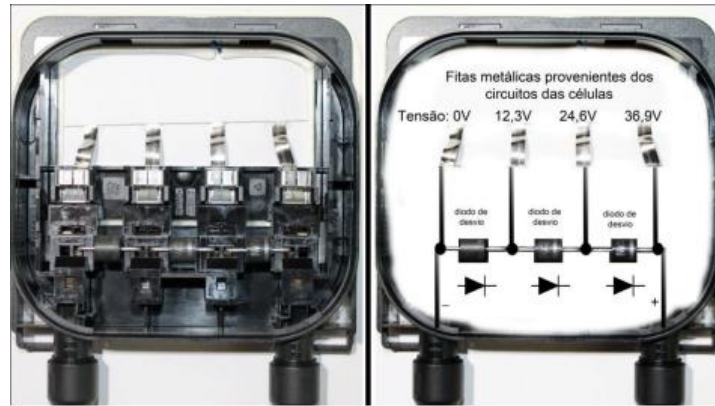


Figura 15 - Caixa de conexões (esquerda) e diagrama de ligações (direita) de um módulo de 240 Wp, com 60 células em série (20 para cada diodo), onde $V_{OC} = 36,9\text{ V}$
(Fonte: CRESESB, 2014)

5.12 Terminais

Em conformidade com a CRESESB, os cabos terminais dos módulos fotovoltaicos devem ter isolamento para máxima tensão do sistema e ser capazes de suportar as intempéries. Módulos modernos, desenvolvidos para aplicações conectadas à rede, são fornecidos com cabos pré-instalados de engate rápido, para facilitar a instalação e boa qualidade de conexão.



Figura 16 – Terminais MC4
(Fonte: CRESESB, 2014)

5.13 Sistemas fotovoltaicos

Um sistema fotovoltaico é uma fonte de potência elétrica, na qual as células fotovoltaicas transformam a radiação solar diretamente em energia elétrica. Durante o seu funcionamento não produzem nenhum tipo de ruído, e muito menos emite gases tóxicos ou outro tipo de poluição ambiental (BlueSol,2016,p14).

5.14 Classificação dos sistemas fotovoltaicos

Os sistemas fotovoltaicos são classificados em:

- Sistemas isolados (Off-Grid);
- Sistemas conectados à rede convencional (On-Grid);
- Sistemas híbridos;

5.14.1 Sistemas isolados (Off-Grid)

Um sistema fotovoltaico Off-grid é aquele que não tem contato com a rede pública de distribuição de eletricidade das concessionárias.

Devido ao fato desse tipo de sistema só gerar eletricidade nas horas de sol, são dotados de baterias que armazenam a energia durante a noite, e também nos períodos chuvosos ou nublados (BlueSol,2016,p16).

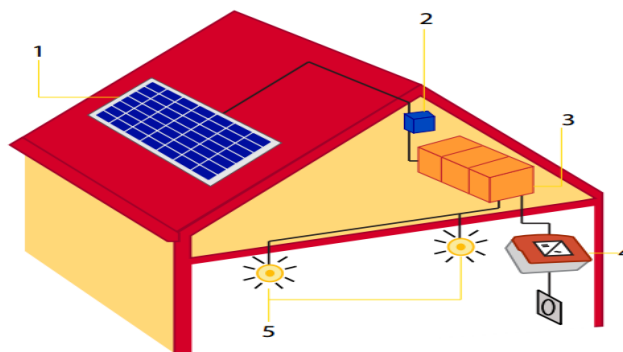


Figura 17 - Componentes de um sistema isolado (Off-grid).

(Fonte: BlueSol, 2016)

- | | |
|--------------------------|--|
| 1. Painel fotovoltaico; | 4. Inversor Off-grid, para cargas em CA; |
| 2. Controlador de carga; | 5. Cargas CC ou CA; |
| 3. Banco de baterias; | |

5.14.2 Sistemas conectados à rede convencional (On-Grid)

Os sistemas fotovoltaicos conectados à rede fornecem energia para as redes de distribuição. Todo potencial gerado é rapidamente injetado para a rede, que age como uma carga, absorvendo energia. Geralmente não utilizam sistemas de armazenamento de energia, e por isso são mais eficientes que os sistemas isolados, além de serem mais baratos (BlueSol,2016,p17).

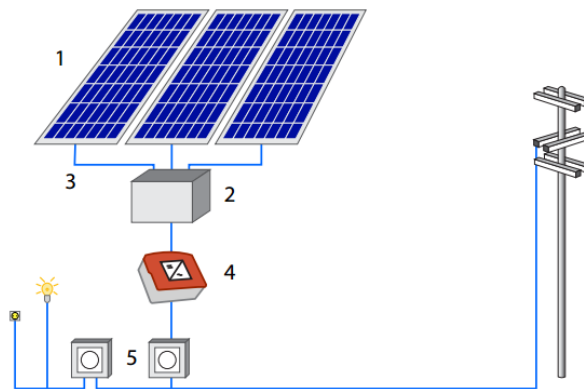


Figura 18 - Componentes de um Sistema conectado à rede (On-Grid)

(Fonte: BlueSol, 2016)

- | | |
|--|-----------------------|
| 1. Painei fotovoltaico; | 4. Inversor Grid-Tie; |
| 2. Caixa de junção do painei fotovoltaico; | 5. Contadores; |
| 3. Cabos; | |

5.14.3 Sistemas híbridos

Um sistema fotovoltaico híbrido trabalha em conjunto com outro sistema de geração elétrica, que pode ser um aerogerador ou um gerador diesel, ou qualquer outro sistema de geração elétrica.

Um sistema híbrido pode ou não possuir sistema de armazenamento de energia. Quando possui, geralmente o sistema de armazenamento tem autonomia menor ou igual a um dia (BlueSol, 2016,p15).

CAPÍTULO II

6. CONTROLADORES DE CARGA

Controladores de carga são incluídos na maioria dos sistemas fotovoltaicos isolados com o objetivo de proteger a bateria ou banco de baterias contra cargas e descargas excessivas, aumentando a sua vida útil. Controladores de carga são componentes críticos em sistemas fotovoltaicos isolados, pois, caso venham a falhar, a bateria poderá sofrer danos irreversíveis (CRESESB, 2014).



Figura 19 - Controladores de carga

(Fonte: BlueSol, 2016)

O controlador de carga é considerado indispensável na grande maioria dos casos, e sua utilização permite uma otimização do dimensionamento do banco de baterias e do seu carregamento, desconexão de cargas e baixo estado de carga da bateria e um maior nível de proteção contra um aumento excessivo de consumo. Existem casos em que, sistemas fotovoltaicos destinados a alimentar equipamentos elétricos com pouca variação de consumo, poderiam ser projetados para operarem sem um controlador de carga. Estes são chamados de sistemas auto regulados (CRESESB, 2014).

De acordo com a BlueSol (2016, p.90), um controlador de carga mede a tensão das baterias e as protege de sobrecargas indevidas, de uma das seguintes formas:

- Desconectando o arranjo fotovoltaico quando sua tensão ultrapassa a tensão limite para a recarga, como fazem os controladores em série;
- Aplicando um curto-circuito no arranjo fotovoltaico através de um controlador shunt;
- Ajustando a tensão do arranjo, como fazem os controladores com MPPT;

6.1 Formas de controlo de carga

De acordo com a forma como controlam a carga do banco de baterias, os controladores podem ser classificados em: controladores série, controladores paralelo (shunt) ou controladores com MPPT (BlueSol, 2016).

6.1.1 Controladores Série

Quando o banco de baterias atinge a tensão máxima de carga, esse tipo de controlador desconecta o arranjo fotovoltaico através de um relé ou uma chave de estado sólido, voltando a conectar o arranjo PV quando a tensão cai para determinado valor. Essas conexões e desconexões criam uma oscilação de tensão próxima à tensão máxima de carga, mas também cria perdas de energia (BlueSol, 2016).

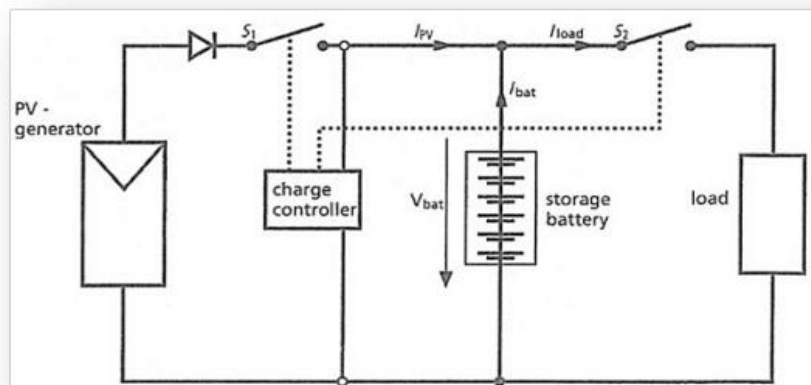


Figura 20 - Esquema de funcionamento de um controlador de carga do tipo série

(Fonte: BlueSol, 2016)

6.1.2 Controladores paralelo (Shunt)

Um controlador shunt reduz continuamente a potência do arranjo fotovoltaico, a partir do momento em que a tensão máxima de carga é alcançada. Como o arranjo continua gerando energia, a corrente excedente é usada como corrente de curto-circuito no arranjo PV, que pode trabalhar em curto-circuito, sofrendo apenas um leve aumento de temperatura. Este é o método ideal para as baterias, pois a recarga é feita de forma segura e eficiente (BlueSol, 2016).

Um componente necessário no controlador paralelo é o diodo de bloqueio, que deve ser ligado em série entre o interruptor e a bateria, a fim de mantê-la protegida de curto-circuito quando a corrente do gerador é desviada (CRESESB, 2014).

Um diodo de bloqueio pode não ser necessário em um controlador série. A maioria dos sistemas de baixa tensão (dependendo dos componentes escolhidos) não experimenta perdas elevadas devidas às correntes reversas durante a noite. Entretanto, todos os sistemas de tensões mais elevadas necessitam de díodos de bloqueio, a menos que a chave impeça o fluxo de corrente para o gerador fotovoltaico (CRESESB, 2014).

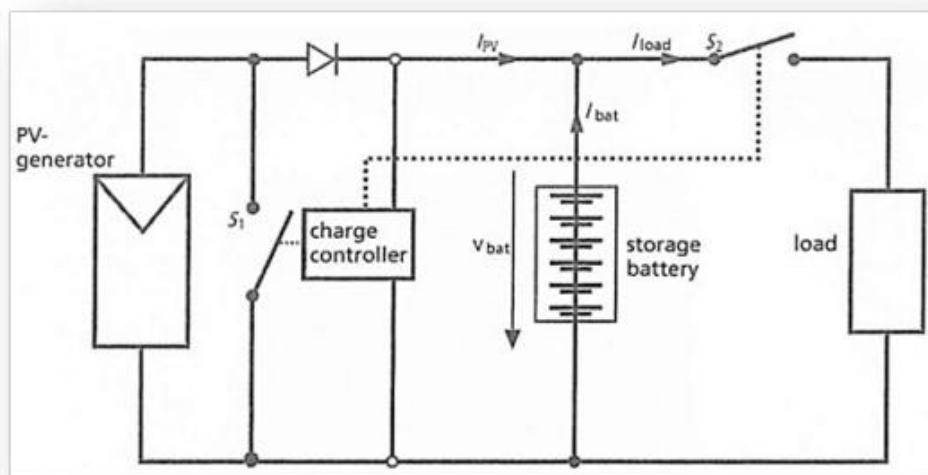


Figura 21 - Esquema de funcionamento de um controlador de carga do tipo Shunt

(Fonte: BlueSol, 2016)

6.1.3 Controladores com MPPT

Os controladores de carga do tipo shunt ou série nem sempre conseguem aproveitar o máximo da energia solar disponível devido às perdas energéticas. Essas perdas podem ser evitadas ao se utilizar um sistema de seguimento do ponto de máxima potência-MPPT (BlueSol, 2016).

Segundo a CRESESB (2016, p.225), o equipamento opera numa tensão de entrada mais elevada do que os controladores convencionais e inclui um inversor cc-cc como primeiro estágio, de forma a alcançar um melhor aliança entre a curva I-V do painel e as baterias, visando aumentar a eficiência do processo de carga.

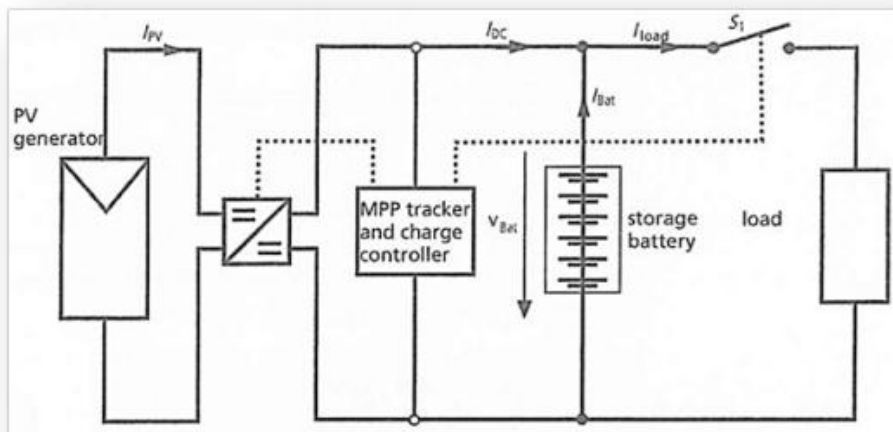


Figure 22 - Esquema de funcionamento de um controlador com MPPT

(Fonte: BlueSol, 2016)

CAPÍTULO III

7. BATERIAS

Nos sistemas fotovoltaicos isolados da rede convencional, os chamados sistemas Off-grid, o uso de dispositivos de armazenamentos de energia faz-se necessário para atender a demanda em períodos nos quais a geração é nula ou insuficiente. Assim, parte da energia solar convertida em energia elétrica pelos módulos fotovoltaicos durante o dia é armazenada para ser usada em outros momentos para atender a demanda (CRESESB, 2014).



Figura 23 - Banco de baterias em uma grande central PV

(Fonte: BlueSol, 2016)

Existem, em princípio, diversas formas de armazenamento de energia, entretanto a bateria eletroquímica ainda é o dispositivo mais utilizado nos sistemas fotovoltaicos isolados, por ser uma forma conveniente e eficiente de armazenamento de energia elétrica (CRESESB, 2014).

De acordo com a BlueSol (2016, p. 82), em sistemas isolados, as baterias tem as seguintes funções:

- Suprir a energia para os consumos, quando o painel não é capaz de gerar energia suficiente;
- Estabilizar a tensão dos módulos fotovoltaicos, garantindo uma faixa de operação mais uniforme para as cargas;

- Fornecer correntes elevadas para alguns dispositivos (como motores) que requerem altas correntes para iniciar o seu funcionamento, estabilizando e utilizando correntes mais baixas depois de alguns segundos;

Segundo a CRESESB (2014, p. 164), as baterias podem ser classificadas, dependendo do tipo de célula que as compõe, em recarregáveis e não recarregáveis.

Existem dois tipos básicos de células: primárias e secundárias.

Uma célula é uma combinação de dois elétrodos e de um eletrólito. Os elétrodos são os componentes matérias de uma célula eletroquímica capazes de conduzir elétrons enquanto que os eletrólitos são substâncias que proporciona o transporte de iões entre os elétrodos anódico e catódico. Numa célula eletroquímica existem dois elétrodos: o ânodo, que é a sede da oxidação eletroquímica, funcionando como fonte dos elétrons, e o cátodo, que é a sede da redução eletroquímica, funcionando como sorvedouro dos elétrons (CRESESB, 2014).

Nas baterias recarregáveis, constituídas por células secundárias, durante o processo de descarga o ânodo é o terminal negativo e o cátodo é o terminal positivo, produzindo eletricidade. Já durante o processo de carga ocorre a reação inversa, consumindo energia (CRESESB, 2014).

7.1 Baterias não recarregáveis

As baterias não recarregáveis são geralmente utilizadas como fontes de energia de baixa potência, em aparelhos tais como relógios de pulso, calculadoras e muitos outros aparelhos portáteis. Compostas por células primárias essas baterias só podem ser utilizadas uma vez. Quando se descarregam completamente, sua vida útil se encerra e elas devem ser descartadas (CRESESB, 2014).

7.2 Baterias recarregáveis

As células secundárias compõem as baterias recarregáveis, ou seja, aquelas que podem ser carregadas com o auxílio de fonte de tensão ou corrente, reutilizadas varias vezes. Comumente chamadas de acumuladores ou baterias de armazenamento, apresentam uma constituição química que permite reações reversíveis. Com o auxílio de uma fonte externa, pode-se recuperar a composição química inicial e deixá-la pronta para um novo ciclo de operação.

As baterias para uso fotovoltaico costumam ser de chumbo-ácido ou de níquel-cadmio. As baterias níquel-cadmio suportam descargas maiores e têm um maior tempo de vida-útil, mas geralmente não são economicamente viáveis na maioria dos sistemas fotovoltaicos porque geralmente num período de 5 anos deve-se substituir as baterias. Outros tipos de baterias, como as de íões de lítio, não são viáveis para sistemas fotovoltaicos, devido à capacidade dos bancos de baterias para essa aplicação, fazendo com que as baterias de chumbo-ácido sejam as escolhidas para a maioria dos sistemas fotovoltaicos isolados (BlueSol, 2016).

7.3 Baterias de chumbo-ácido

A bateria chumbo-ácido foi inventada em 1859 por Planté³, sendo que as células na época eram constituídas por placas planas de chumbo puro sólido, detalhes construtivos diferentes dos adotados atualmente (CRESESB, 2014).

Hoje em dia as baterias Chumbo-ácido são constituídas utilizando dióxido de chumbo como material ativo da placa catódica e chumbo metálico, numa estrutura porosa altamente reativa (chumbo esponjoso), como material ativo da placa anódica. Estas placas são imersas em uma solução diluída de ácido sulfúrico, que constitui o eletrólito (CRESESB, 2014).

Durante descarga, os elétrons fluem do pólo negativo para o pólo positivo, provocando uma reação química entre as placas e o ácido sulfúrico chamada de sulfatação, que leva a formação de sulfato de chumbo nas duas placas, que consome o ácido, tornando o eletrólito mais aquoso. Quando o sistema fotovoltaico recarrega a bateria, os elétrons fluem em sentido contrário, revertendo a reação química (BlueSol, 2016).

³ Raymond Gaston Planté (1834-1889), cientista francês

7.4 Baterias Níquel-Cádmio e Níquel-hidreto metálico

As baterias Níquel-Cádmio (NiCd) têm estrutura física similar às de chumbo-ácido, mas ao invés de placas de chumbo, é utilizado nas placas catódicas o hidróxido de Níquel III, NiO(OH) , e nas placas anódicas usa-se o cádmio (Cd) e ferro. O eletrólito é uma solução aquosa de hidróxido de Potássio (KOH). O KOH é um álcali, por isso são classificados como baterias alcalinas (CRESESB, 2014, p194).

As baterias de Níquel-hidreto metálico (NiMH) são também baterias alcalinas, formados por NiO(OH) nas placas catódicas e por uma liga metálica que tem a propriedade de formar hidretos (compostos com Hidrogénio, MH). As ligas que apresentam esta propriedade podem ser de Níquel com terras-raras como LaNi_5 , ou de Titânio e Zircônio, como TiZr_2 , que têm sido muito utilizadas (CRESESB, 2014, p196).

7.5 Baterias de Lí-ion

Esse tipo de baterias apresentam altas densidades energéticas, por isso, é considerada uma tecnologia promissora com um horizonte vasto para novos desenvolvimentos. As baterias Li-íon são formadas por um composto de Lítio (Li) da forma LiMO_2 no cátodo, onde M representa um metal de transição, produzindo íons de Lítio durante a descarga. O ânodo, designado por C_n , é formado por Carbono com a propriedade de receber e acumular íons de Lítio, podendo, entre outros, ser de uma estrutura denominada fulereno ou C_{60} (CRESESB, 2014, p197).

7.6 Sulfatação

Um problema que comumente ocorre nas células de Chumbo-ácido é o fenómeno chamado de sulfatação, que é o processo de formação e deposição de cristais de sulfato de chumbo sobre as placas das células. Pode ser causada por se deixar este tipo de bateria descarregada por prolongados períodos de tempo ou por submetê-la a severos e repetidos processos de descarga, podendo danificar as placas, consequentemente afetando o funcionamento da bateria (CRESESB, 2014)

A sulfatação reduz permanentemente a capacidade da célula devido à perda de material ativo, além e aumentar a resistência interna, por serem os cristais maus condutores. A melhor maneira de evitar a sulfatação é carregar a célula regularmente e imediatamente após cada descarga profunda, para que todo o sulfato de chumbo seja revertido (CRESESB, 2014).

7.7 Desempenho e características das baterias

De acordo com a BlueSol (2016, p.87), os termos relativos às baterias que devemos considerar, no momento de projetar um banco de baterias são:

- **Carga/Descarga:** processo de conversão da energia elétrica em energia química e vice-versa, que ocorre no interior da célula da bateria.
- **Capacidade:** é a quantidade de carga elétrica que uma bateria pode fornecer até ficar totalmente descarregada, normalmente definida como quantidade de amperes-hora (Ah) ou também expressa em termos de energia (Watts-hora).
- **Capacidade nominal:** quantidade de carga extraível de uma bateria em determinado período de tempo.
- **Capacidade útil:** capacidade utilizável da bateria. É o produto da capacidade nominal pela profundidade de descarga.
- **Profundidade de Descarga:** indica quantidade, em termos percentuais, entre a carga extraída e a capacidade nominal. A máxima profundidade de descarga, numa bateria de chumbo-ácido, deve ser de 80%.
- **Auto-descarga:** perdas energéticas da bateria quando está em circuito aberto. É provocado pela constante reação química no interior da bateria.
- **Ciclo:** Sequência completa de carga e descarga da bateria em determinada profundidade de descarga.
- **Corrente:** assim como a capacidade, é determinada baseando-se no período descarga da bateria.

CAPÍTULO IV

8. INVERSORES

Um inversor é um dispositivo eletrónico que fornece energia elétrica em corrente alternada (c.a.) a partir de uma fonte de energia elétrica em corrente contínua (c.c.), que pode ser proveniente, por exemplo, de baterias, células de combustível ou módulos fotovoltaicos. A tensão c.a de saída deve ter amplitude, frequência e conteúdo harmónico adequados às cargas a serem alimentadas (CRESESB, 2014, p216).



Figura 24 – Inversores

(Fonte: BlueSol, 2016)

8.1 Características dos inversores

No caso de sistemas fotovoltaicos, os inversores podem ser divididos em duas categorias com relação ao tipo de aplicação: Sistemas Fotovoltaicos Isolados, SFI, e Sistemas Fotovoltaicos Conetados à Rede, SFCR. Embora os inversores para SFCR compartilhem os mesmos princípios gerais de funcionamento que os inversores para SFI, eles possuem caraterísticas específicas para atender às exigências das concessionárias de distribuição em termos de segurança e qualidade da energia injetada na rede (CRESESB, 2014, p217).

Os parâmetros a serem observados nas especificações de um inversor fotovoltaico são: a tensão de entrada c.c e a tensão de saída c.a, a faixa de variação de tensão aceitável, a potência nominal, a potência de surto, a frequência, a forma de onda e a distorção harmónica, grau IP de proteção, ou seja, Grau de Proteção contra Partículas Sólidas e Líquidas, temperatura ambiente e umidade do local da instalação além das certificações e tempo de garantia desejados (CRESESB, 2014, p.232).

8.2 Classificação dos inversores

Segundo a CRESESB (2014, p. 222) A classificação dos inversores pelo princípio de operação divide-se em dois grandes grupos:

- **Comutados pela rede (comutação natural)**

Os primeiros inversores utilizavam tirístores como elementos de chaveamento, que são dispositivos semicondutores capazes de suportar altas tensões e correntes. A troca do estado de condução para o estado de corte é controlada pelo circuito de potência. Uma vez em condução, o dispositivo só é levado ao corte quando a corrente que flui através dele for inferior à chamada corrente de manutenção de condução, ou quando houver uma reversão de polaridade entre ânodo e cátodo.

Apesar de robustos e simples, sua baixa qualidade de tensão e corrente de saída requer o uso de redes de filtragem complexas, onerosas e que implicam perdas. Com o surgimento de novos dispositivos de chaveamento, a utilização de inversores a tiristor foi sendo reduzida.

- **Auto-comutados (comutação forçada)**

Nos inversores Auto-comutados os elementos de chaveamento são semicondutores que podem ser postos em estado de condução ou de corte em qualquer instante do ciclo, através de um terminal de controlo. Estes dispositivos operam com a estratégia de controlo de modulação por largura de pulso (PWM), o que permite um bom controlo sobre a forma de onda e o valor da tensão de saída.

Os inversores Auto-comutados dividem-se em fonte de corrente e fonte de tensão. Na configuração fonte de tensão, a mais usada em sistemas de conversão fotovoltaica, o controle pode ser feito tanto por tensão quanto por corrente, dependendo da grandeza de saída utilizada como referência. Devido à sua estabilidade diante de perturbações na rede e à facilidade no controle do fator de potência, o controle por corrente é usado na maioria dos modelos para sistemas fotovoltaicos conetados à rede, enquanto que o controle por tensão é utilizado principalmente em inversores para sistemas fotovoltaicos isolados.

8.3 Dispositivos semicondutores de chaveamento nos inversores

Os inversores são constituídos com auxílio de dispositivos semicondutores de potência, que constituem chaves eletrônicas, podendo ser colocados em estado de condução ou de bloqueio por meio de um sinal de controlo, e permitem a conversão de tensão c.c. para c.a. e vice-versa. Os dispositivos semicondutores de chaveamento que vêm sendo utilizados nos inversores são genericamente denominados de tirístores e transístores (CRESESB, 2014).

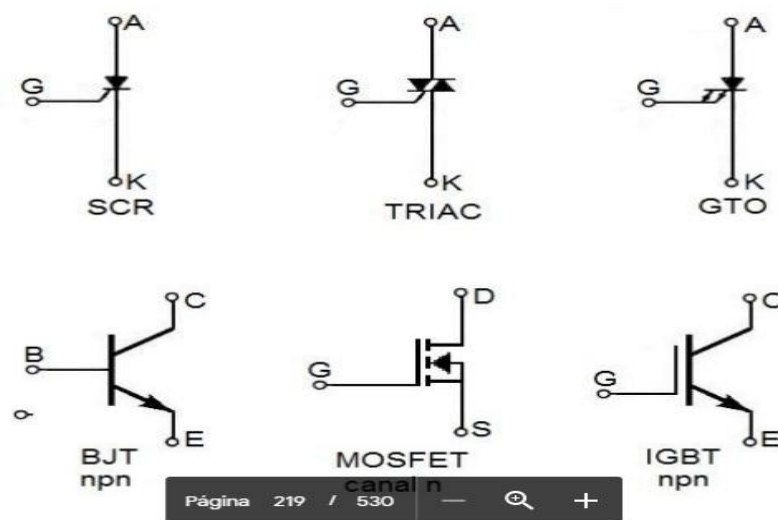


Figura 25 - Símbolos de componentes utilizados em inversores (Acima- tirístores; Abaixo- transístores;)

(Fonte: CRESESB, 2014)

Os principais fatores que determinam a eficiência do inversor são as perdas em condução e na comutação. Nos períodos de bloqueio, geralmente a corrente de fuga é desprezível ($I=0$) em relação a tensão V , portanto não há perdas no semiconductor (CRESESB, 2014).

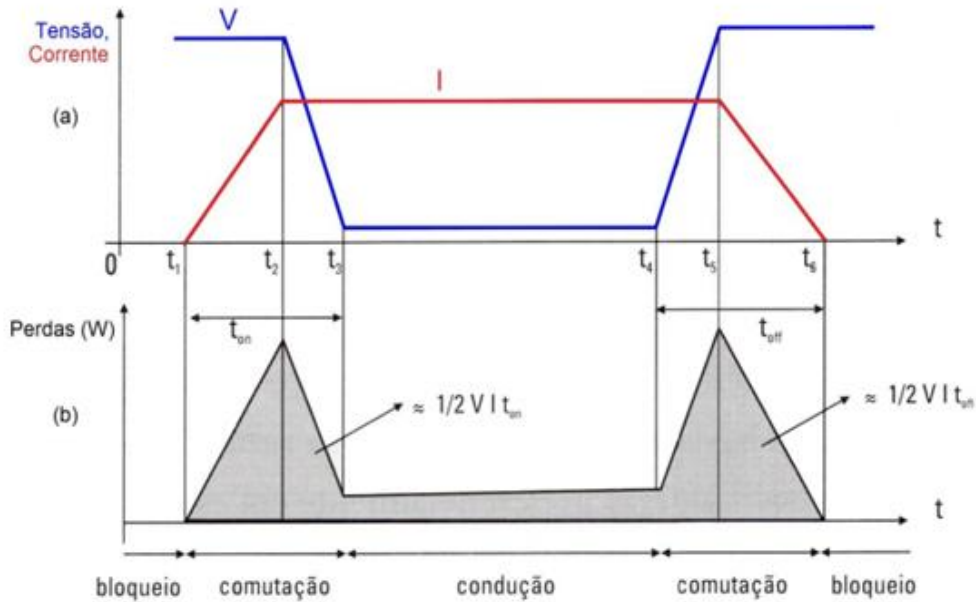


Figura 26 - a) Formas de onda de Tensão (V) e corrente (I) sobre um dispositivo em chaveamento e condução, e b) Perdas.

(Fonte: CRESESB, 2014)

8.3.1 Comutação

No momento em que o dispositivo recebe o comando para entrar em condução, a corrente (I) começa a subir até atingir seu valor máximo. Quando então a tensão (V) começa a cair até atingir o seu valor mínimo, ocorrem as perdas por comutação, resultantes da tensão e da corrente sobre o dispositivo ($V \times I$) (CRESESB, 2014).

8.3.2 Condução

No período em que o dispositivo está em condução também ocorrem perdas, pois ele está submetido a tensão e corrente, mas com potência reduzida (CRESESB, 2014).

CAPÍTULO V

9. DIMENSIONAMENTO DO PROTÓTIPO

Como foi mencionado no capítulo anterior, um sistema fotovoltaico autónomo é genericamente delineado para suprir um conjunto de cargas que operam isoladas da rede convencional das concessionárias, durante todo o ano. Neste contexto, o dimensionamento de um sistema fotovoltaico autónomo é para suprir o consumo energético de um smartphone Alcatel Onetouch Pop 3(5), modelo 5015D, com tensão nominal de 3,8 V e corrente nominal de 1800 mAh.

O dimensionamento do protótipo será feito sem o recurso à utilização de software específico. Cada elemento do sistema em questão será calculado a partir de um conjunto de equações matemáticas simples que permite executar o processo da atividade prática deste trabalho de forma mais ou menos precisa.

9.1 Demanda da energia diária a fornecer à carga (Wh)

De forma a se poder calcular a energia consumida pela carga deve-se referir aos dados onde consta a potência nominal do aparelho que irá ser utilizado bem como o número de horas que o aparelho irá estar ligado ao sistema.

No caso em evidência, o sistema tem que suprir o consumo elétrico do aparelho, de 6,84 Wh, num intervalo de 1 hora por dia (Wh/dia). Esse é o primeiro dado, e um dos mais importantes, para a conceção de um sistema fotovoltaico.

$$W_D(\text{Wh/dia}) = P(W) \times t(h) \quad (9.1.1)$$

$$W_D = 6,84(W) \times 1(h) = 6,84\text{Wh/dia}$$

Onde W_D representa a energia total consumida por dia, $P(W)$ indica a potência de um determinado equipamento e $t(h)$ corresponde ao seu intervalo de tempo de funcionamento.

9.2 Estimativa do fator de perdas

O rendimento total (η) de um sistema fotovoltaico está sujeito a algumas perdas inerentes.

O rendimento total do sistema pode ser determinado através da expressão:

$$\eta = \eta_{Pv} \times \eta_{Pv-Bat} \times \eta_{Cc} \quad (9.1.2)$$

Onde:

- η_{Pv} é o rendimento do painel tendo em conta que não está a funcionar no ponto de potência máxima (80% do valor típico);

$$\eta_{Pv} = 80\% = 0.8$$

- η_{Pv-Bat} representa as perdas devido à queda de tensão nos cabos que ligam o painel à bateria, assumindo valores de 2%;

$$\eta_{Pv-Bat} = 100\% - 2\% = 98\% = 0.98$$

- η_{Cc} é o rendimento do controlador de carga, na ordem dos 98%

$$\eta_{Cc} = 0.98$$

Substituindo os parâmetros da equação acima obtém-se:

$$\eta = 0.8 \times 0.98 \times 0.98 \cong 0.8$$

9.3 Potência do gerador fotovoltaico

A radiação solar não assume um valor constante durante todo o ano, portanto no dimensionamento dos sistemas autónomos é preciso conhecer os dados das diferentes radiações incidentes do local onde se pretende montar o sistema. Para garantir que o sistema funcione durante todos os meses do ano, é recomendado dimensionar o sistema para o mês com pior radiação incidente. O método utiliza valores médios mensais de radiação solar e da carga, considerando-se somente os valores do mês mais desfavorável na relação carga/radiação, proporcionando um excesso de energia nos meses mais favoráveis (CRESESB, 2014, p. 308).

A análise da radiação incidente foi feita a partir de um software online de informação geográfica denominado de PVGIS. O programa oferece um inventário baseado em mapas de recursos de energia solar e avaliação da produção de eletricidade a partir de sistemas fotovoltaicos. Possui uma base de dados da radiação solar incidente na Europa, na África e no Sudoeste Asiático (European commission).

Com o auxílio do *software* PVGIS, foi feito uma análise dos dados da radiação solar incidente na cidade do Mindelo, tendo em conta a inclinação no plano horizontal, como se pode ver na tabela abaixo.

Localização: 16°52'51'' Norte, 24°59'23'' Oeste

Hh-Irradiação no plano horizontal (Wh/m²/dia)

Mês	Jan	Fev	Mar	Abr	Maio	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Média anual
Hh	2890	5760	6800	7230	7660	7000	6520	6280	6190	6050	5290	4770	6030

Tabela 1 - Radiação solar na cidade do Mindelo (PVGIS, s.d.)

Analisando os dados da tabela da radiação em Mindelo, fornecidos pela PVGIS, pode-se ver que o pior mês é o mês de janeiro, com uma radiação de 2890 Wh/m². Dividindo esse valor pela radiação incidente por metro quadrado, segundo condições standard do teste (STC) que corresponde a 1000 W/m² obtém-se o número de horas de sol pleno diário (HSP):

$$HSP = \frac{2890 \text{ Wh/m}^2}{1000 \text{ W/m}^2} = 2.89h$$

O gerador fotovoltaico deverá ter uma potência de pico (P_{Fv}) que deverá suprir o consumo diário de energia (W_D) do smartphone, considerando a radiação do pior mês incidente em Mindelo. Nesta lógica, a potência de pico do gerador fotovoltaico calcula-se de acordo com a seguinte equação:

$$P_{Fv} = \frac{W_D}{\eta \times HSP} \quad (9.1.3)$$

Substituindo os parâmetros obtém-se:

$$P_{Fv} = \frac{6,84Wh/dia}{0,8 \times 2,89h} = 2,95 W$$

9.3.1 Seleção do módulo

O módulo selecionado foi um módulo de silício policristalino de 24 células, adquirido na loja de venda *online Aliexpress*, da marca ANGUI, de tamanho 165x165 mm, com uma potência de saída de 5,1W.

Marca	P. saída [W]	Voc [V]	Vmpp [V]	Isc [mAh]	Impp [mAh]
ANGUI	5,1W	6 V	5,96 V	850 mAh	800 mAh

Tabela 2 - Caraterísticas do módulo escolhido

Para calcular o número de módulos PV necessários para o sistema segue-se a seguinte expressão:

$$Nm = \frac{P_{Pv}}{P_{Mod}} \quad (9.1.3)$$

Com a potência do gerador já definida, o número de módulos será de:

$$Nm = \frac{6,84 [Wh/dia]}{5,1[W]} = 1,3 \cong 1$$

9.4 Dimensionamento do controlador de carga

Para o dimensionamento da corrente máxima do controlador (I_C) é considerada a corrente de curto-circuito do painel fotovoltaico acrescida de um fator mínimo de segurança de 25 % que o painel pode receber numa radiação de até 1250 W/m^2 (ainda que por curtos períodos) (CRESESB, 2014,p. 314). A corrente de curto-circuito do painel é o mesmo que a corrente nominal. A corrente máxima do controlador (I_C) é a corrente de curto-circuito do painel (I_{SC}) multiplicada pelo número de módulos:

$$I_C = 1,25 \times Nm \times I_{SC} \quad (9.1.4)$$

9.4.1 Seleção do controlador carga

A seguir, segue uma tabela com as características do controlador de carga escolhido.

Modo de carga	Modelo	Tamanho	Peso	Corrente do Sistema			Tensão do Sistema			
				3A	5A	10A	1,2 V	3,2 V	4,3 V	7,5 V
PWM	IP30	53,4 x 68,6 x 22 mm	0,05 Kg							

Tabela 3 - Características do controlador de carga escolhido

Substituindo os valores na expressão 9.1.4, obteve-se o valor da corrente nominal que o controlador deverá suportar. Tendo em conta o número de módulos e a corrente de curto-circuito do módulo (I_{SC}) tem-se que:

$$I_c = 1,25 \times 1 \times 0,85 = 1,06 \text{ A}$$

O controlador escolhido deverá suportar uma corrente de 1,06 A.

9.5 Dimensionamento das baterias

Em sistemas fotovoltaicos isolados da rede elétrica convencional, o uso de baterias faz-se necessário para atender a demanda em períodos nos quais a geração é nula ou insuficiente. Assim, parte da energia solar convertida em energia elétrica pelos módulos fotovoltaicos durante o dia é armazenada para ser usada à noite ou em dias com baixo nível de radiação solar (CRESESB, 2014, p163).

Para um correto dimensionamento das baterias é preciso conhecer os seguintes dados:

- Consumo diário em Ah (W_{Ah});
- Profundidade de descarga máxima (P_d);
- A eficiência da bateria (η_{bat});
- A tensão do sistema (U);
- Indicar o número de dias de reserva de carga (N_r);

Dos vários tipos de acumuladores eletroquímicos existentes, nenhum atinge 100% de eficiência em situações reais.

O consumo diário é calculado com base na energia diária (Wh/dia) e na tensão da bateria (U) conforme a seguinte equação:

$$W_{Ah} = \frac{W_D}{U} \quad (9.1.5)$$

A capacidade real da bateria será:

$$CR = \frac{W_{Ah} \times N_r}{P_d \times \eta_{bat}} \quad (9.1.6)$$

9.5.1 Seleção da Bateria

Na tabela abaixo apresenta-se as principais características de alguns tipos de baterias recarregáveis disponíveis comercialmente.

Tecnologia	Eletrólito	Densidade Energética [Wh/kg]	Densidade Energética [Wh/L]	Eficiência η_{wh} [%]	Vida útil [anos]	Vida cíclica [ciclos]	Temperatura de operação		Aplicações típicas (exemplos)
							Carga padrão [°C]	Descarga [°C]	
Chumbo ácido ⁷ (Pb-ácido)	H ₂ SO ₄	20–40	50–120	80–90	3–20	250–500	–10 a +40	–15 a +50	Uso estacionário, tração, automotiva
Níquel-Cádmio (NiCd)	KOH	30–50	100–150	60–70	3–25	300–700	–20 a +50	–45 a +50	Mesmo tipo de aplicações das baterias chumbo-ácido, ferramentas, veículos elétricos
Níquel-hidreto metálico (NiMH)	KOH	40–90	150–320	80–90	2–5	300–600	0 a +45	–20 a +60	Notebooks, celulares, câmeras fotográficas, veículos elétricos e híbridos, brinquedos
Íon de Lítio (Li-ion, Li-polímero)	Polímeros orgânicos	90–150	230–330	90–95	–	500–1000	0 a +40	–20 a +60	Notebooks, celulares, filmadoras, smart cards, veículos elétricos e híbridos

Tabela 4 - Dados técnicos de catálogos de baterias recarregáveis.

(Fonte: CRESESB, 2014)

Para a montagem do protótipo optou-se por escolher a bateria de Níquel-Hidreto metálico (NiMH), fabricadas pela Sony, modelo HR6 MIGNON, de tamanho AA, com 14,5 mm de diâmetro, 5 mm de altura e 26 g de peso.

Fabricante	Modelo	Tamanho	Capacidade [mAh]	Tensão [V]	Peso [g]	Garantia [Anos]
Sony	HR6 MIGNON	AA	4600	1,2	26	2-5

Tabela 5 - Características da bateria selecionada

A bateria NiMH tem uma alta densidade de energia se comparada com as baterias NiCd. Embora seu ciclo de vida seja inferior ao da bateria NiCd, em muitas partes do mundo o consumidor é encorajado a usar a bateria NiMH, pelo uso de metais não tóxicos, não provocando danos ambientais com o descarte das baterias em fim de vida útil (Sta-electronica, s.d., p. 9).

O armazenamento de energia de uma bateria pode ser dividido em 3 secções designadas de energia disponível, zona vazia (que pode ser utilizada novamente) e zona inutilizada.



Figura 12 – Secções da bateria;

(Fonte: Sta-electronica, s.d.)

Em baterias à base de níquel, a zona inutilizada pode estar na forma de uma formação cristalina, também chamada de memória. Usa-se essa terminologia para indicar a perda de capacidade em baterias à base de níquel que são reversíveis. Em uma boa bateria, a formação cristalina é composta por cristais finos, obtendo máxima área de superfície. Quando o fenómeno de memória ocorre, os cristais crescem e drasticamente reduzem a área de superfície causando um decréscimo na tensão, que conduz a uma perda de capacidade (Sta-electronica, s.d., p. 98).

Embora a bateria de NiMH tenha sido originalmente anunciada como sendo livre de memória, tanto a de NiMH quanto a de NiCd são afetadas pelo fenómeno, porém a de NiMH num grau muito menor (Sta-electronica, s.d., p. 84).

Embora a bateria de NiMH não apresente o ciclo de vida esperado, esse tipo de acumulador oferece bons valores de preço. Além de possuir uma alta densidade de energia e um efeito de memória mínimo, a armazenagem e transporte são simples sem estar sujeito a condições especiais. Em análise, a bateria de Lítio-Íon pode ser também uma boa escolha, por ser uma bateria leve de baixa manutenção que oferece alta

energia, mas o uso de bateria NiMH é o mais apropriado por ser não tóxico, não causando danos ao meio ambiente (Sta-electronica, s.d., p. 85).

9.5.2 Cálculo da capacidade da bateria

Como visto anteriormente, para dimensionar uma bateria é preciso ter em conta o número de dias de reserva de carga (N_r), a eficiência da bateria (η_{bat}) e a profundidade de descarga máxima (P_d).

A capacidade da bateria depende do número de dias em que conseguirá substituir o painel fotovoltaico, quando não houver sol ou em períodos nublados. Cabo Verde é um país ensolarado praticamente o ano inteiro com exceções nos meses com períodos de chuvas, que normalmente ocorrem em agosto e setembro. Apesar do período das chuvas ser de pouca duração, por vezes, as precipitações prolongam-se por mais de dois dias. Posto isto, optou-se por escolher um número de reserva de carga de dois dias.

A tensão típica na etapa final de descarga para baterias à base de Níquel é de 1V por célula. Neste nível de tensão, aproximadamente 99% da energia é gasta e a tensão começa a cair rapidamente se a descarga continuar (Sta-electronica, s.d., p. 57). Para baterias de NiMH a sua eficiência encontra-se situado entre 80% a 90%, com uma profundidade de carga de 99%.

A tensão do sistema será de 3,8 V tendo em conta a potência consumida diariamente.

Substituindo os valores na expressão 9.4.1 obtém-se o seguinte consumo diário em Ah:

$$W_{Ah} = \frac{6,84}{3,8} = 1,8 \text{ Ah}$$

Aplicando a expressão 9.1.6 obtém-se o seguinte valor da capacidade real da bateria:

$$CR = \frac{1,8 \times 2}{0,99 \times 0,9} = 4,04 \text{ Ah}$$

Como a tensão do sistema é maior que a tensão da bateria escolhida desencadeia-se o cálculo do número de baterias a colocar em série pela equação:

$$\text{Nº baterias em serie} = \frac{\text{Tensão do sistema}}{\text{Tensão nominal da bateria}} \quad (9.1.7)$$

Substituindo os valores da equação 9.1.7 obtém-se:

$$\text{Nº baterias em serie} = \frac{3,8}{1,2} = 3,167 \approx 4$$

Serão utilizadas, no total, quatro (4) baterias ligadas em série.

10. MONTAGEM E TESTE DO PROTÓTIPO

O suporte do protótipo foi feito de maneira artesanal a partir de gelatina com as bordas coladas com cola mistura, sendo posteriormente forrado com papel vinil. Nas laterais, a partir de pequenos furos, foi feito um sistema de ventilação natural para evitar o aquecimento dos componentes internos.



Figura 27 - Suporte do protótipo

Os testes foram realizados em horários e dias diferentes, para garantir o funcionamento do carregador a qualquer momento. Com o auxílio do multímetro foi feita a coleta dos dados do painel solar, apresentados na tabela seguinte. A corrente de saída é igual a corrente nominal, 850 mAh.

Data	Horário	Tensão de circuito aberto
17/Ago/19	13:30	5,91 V
17/Ago/19	14:30	5,93 V
17/Ago/19	15:30	5,83 V
17/Ago/19	16:30	5,77 V
17/Ago/19	17:30	4,82 V
18/Ago/19	10:00	5,58 V
18/Ago/19	11:00	5,83 V
18/Ago/19	12:00	5,96 V
18/Ago/19	13:00	5,92 V
18/Ago/19	14:00	5,93 V
18/Ago/19	15:00	5,90 V
18/Ago/19	16:00	4,90 V
18/Ago/19	17:00	4,84 V
18/Ago/19	18:00	2,11 V
20/Ago/19	08:00	5,03 V
20/Ago/19	09:00	5,30 V
20/Ago/19	10:00	5,58 V

Tabela 6 - Coleta de dados da tensão do painel

O módulo fotovoltaico foi protegido com um díodo de bloqueio, evitando assim, o retorno do fluxo de corrente do controlador de carga para o painel e a ocorrência de pontos quentes que trariam consequentemente danos irreversíveis ao módulo.

O painel solar gera a energia elétrica para o circuito, onde, por sua vez, a tensão é regulada através do controlador de carga para os níveis exigidos pelo telefone, fazendo-se, assim, a carga da bateria do mesmo. Durante a ausência de radiação solar o telefone pode ser carregado a partir de um banco de baterias conetadas em série instaladas dentro do protótipo.

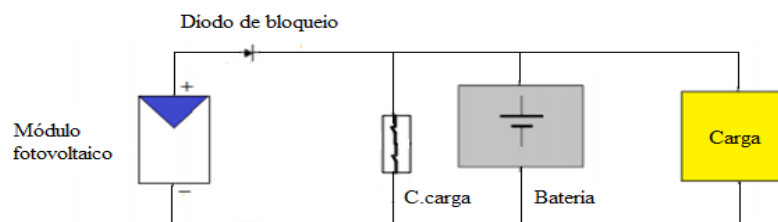


Figura 28 - Circuito do sistema

A tabela 5 mostra os valores obtidos das respetivas tensões e correntes do circuito montado:

Data	Horário	Tensão na carga	Corrente na carga	Resultado
21/Ago/19	09:00	4,17 V	240 mA	Funciona
21/Ago/19	12:00	5,58 V	330 mA	Funciona
21/Ago/19	14:00	5,22 V	300 mA	Funciona
21/Ago/19	16:00	4,12 V	230 mA	Funciona
21/Ago/19	17:00	4,05 V	130 mA	Funciona
21/Ago/19	18:00	2,30 V	50 mA	Não funciona
22/Ago/19	8:15	4,06 V	140 mA	Funciona
22/Ago/19	9:00	4,10 V	240 mA	Funciona
22/Ago/19	12:00	5,58 V	330 mA	Funciona
22/Ago/19	14:00	5,20 V	300 mA	Funciona
23/Ago/19	08:00	4,07 V	140 mA	Funciona
23/Ago/19	10:00	4,10 V	240 mA	Funciona

Tabela 7 - Testes do protótipo somente com a energia do painel

Os testes realizados na ausência de radiação solar, somente com a energia do banco de baterias também foram bem-sucedidos.

CAPÍTULO VI

11. ANÁLISE DA VIABILIDADE ECONÓMICA DO PROTÓTIPO

Dois dos aspetos mais importantes a se ter em conta antes da implantação de qualquer projeto são, sem dúvida, o custo da aquisição e montagem dos componentes e a viabilidade económica do dito projeto. Em resumo, é a relação custo versus benefícios do projeto.

O custo dos sistemas fotovoltaicos geralmente é medido em Watt-pico ($\$/W_p$) e os seus múltiplos, como o KW_p , o MW_p e o GW_p . Dado que o nosso sistema pode ser considerado um Microssistema, usaremos a unidade W_p . As condições de produção de energia elétrica dependem muito de fatores externos à célula fotovoltaica, logo, a potencia W_p de um determinado sistema fotovoltaico que funcione em corrente continua é determinada, quando o mesmo sistema é irradiado por uma luz artificial que simula a luz do sol com uma potencia de 1000 W/m^2 , à temperatura de 25° C . De acordo com estudos realizados em Portugal (Epia, 2014), o custo dos sistemas fotovoltaicos implementados naquele país era, em 2008, em média, de 4,2€ por Watt-pico, ou seja, 462 CVE por Watt-pico.

11.1. Custo do projeto

No caso em estudo, os componentes essenciais do protótipo foram adquiridos na China, através de lojas virtuais, acessadas através da plataforma *AliExpress*, enquanto os acessórios foram adquiridos localmente.

Na tabela abaixo, encontram-se discriminados os componentes e os seus respetivos custos:

Tipo de componente	Marca	Fabricante	Preço unitário	Quant.	Preço total
Painel Fotovoltaico	ANGUI	ANGUI	736 CVE	1	736 CVE
Controlador de carga	PWM	Professional Tool Centrer	414 CVE	1	414 CVE
Baterias	SONY	Sony	150 CVE	4	600 CVE
Conectores	DIYMORE	ZQC	18 CVE	2	36 CVE
Díodo de bloqueio	ZHUOYU	SHENZHEN	15 CVE	1	15 CVE
Total					1800 CVE

Tabela 8 - Custo dos componentes

O custo total do protótipo foi de 1800 CVE.

11.2. Viabilidade

Tendo em conta que o sistema foi concebido para alimentar um smartphone cuja potência é de 6,84 Wh, e com uma vida útil de aproximadamente cinco anos, e considerando que atualmente o custo do KWh fornecido pela concessionária ELECTRA, SA, quando o consumo doméstico ultrapassa os 60 KW é de 31,47 CVE e, a tendência do custo da eletricidade em Cabo Verde, segundo a agência reguladora económica (ARE), é de aumentar em média 4% ao ano, atentemos a seguinte tabela:

Ano	Potência de Consumo [Wh]	Custo por KWh [CVE]	Número de hora de carga diária [h]	Consumo Diário [CVE]	Consumo Mensal [CVE]	Consumo Anual [CVE]
Primeiro	6,84	31,47	4	0,860	26,660	319,920
Segundo	6,84	32,728	4	0,892	27,652	331,824
Terceiro	6,84	34,037	4	0,928	28,768	345,216
Quarto	6,84	35,398	5	1,210	37,510	450,120
Quinto	6,84	36,813	5	1,255	38,905	466,860
TOTAL						1910,940

Tabela 9 – Tempo de amortização do custo do projeto

O custo inicial do protótipo foi de 1800 CVE. Ao longo de cinco anos o mesmo consegue amortizar 1910,940 CVE. Serão necessários menos de cinco anos para amortizar o custo inicial total.

CONCLUSÃO

A energia fotovoltaica é hoje uma das alternativas energéticas mais promissoras para suprir a necessidade energética imprescindível ao desenvolvimento humano, diminuindo assim a dependência dos combustíveis fósseis.

Com a evolução da eletrónica deu-se a evolução dos processadores e dispositivos nas mais diferentes arquiteturas e complexos circuitos. Paralelamente a esse avanço houve também a evolução das baterias para que fosse possível suportar o maior número de processamento de dados; contudo, com o desenvolvimento dos aparelhos e efetivamente a sua gama de funções, aumentou-se consideravelmente o número de usuários, gerando assim um problema de autonomia da carga da bateria.

Ciente do interesse crescente em solucionar este problema através de fontes limpas de energia, a montagem de um carregador solar provou-se ser uma aposta técnica e ambientalmente viável.

É evidente que, para que o modelo de carregador solar desenvolvido neste trabalho ganhe mercado, diversos aprimoramentos terão de ser feitos. Tais como a construção de módulos fotovoltaicos com menores dimensões, não comprometendo a capacidade do dispositivo, para possibilitar uma melhor portabilidade; aquisição de baterias menos onerosas; construção dum controlador de carga, em vez da compra de um pré-fabricado.

Além da facilidade de obtenção da fonte de energia e transporte, os componentes para a construção desse tipo de tecnologia são de fácil acesso e montagem, e o protótipo apresenta uma boa relação custo/benefício.

O dispositivo é extremamente eficiente em termos energéticos, dado que Cabo Verde tem uma grande incidência de radiação solar durante quase todo ano, com exceção dos meses de Agosto e Setembro, marcados com períodos de chuvas. Com essa variabilidade da radiação incidente durante esse período, o emprego de baterias de armazenamento garante o funcionamento durante ocasiões de fraca ou nula incidência solar que, regra geral, não ultrapassam os dois dias.

Economicamente falando, o projeto pode ser considerado viável, uma vez que o tempo de amortização do custo total do projeto é muito menor do que o tempo de vida útil do componente principal, o painel fotovoltaico. No momento de conceção do projeto, as

baterias disponíveis no mercado eram relativamente caras, hoje, no momento de redação desde relatório, pode-se encontrar baterias muito mais económicas.

Esse trabalho aponta novas diretrizes a serem desbravadas, desenvolvendo também o uso desse tipo de tecnologia em outras aplicações, tais como, carregadores para baterias de tablets, computadores portáteis, reprodutores de música em formato mp3, câmaras fotográficas, veículos eléctricos e híbridos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Agência Regulação económica. (s.d.). *Eletricidade Agência Regulação Económica*.

Disponível em: <

http://www.are.cv/index.php?option=com_content&task=view&id=74&Itemid=89 >.

[Consultado em 06/09/2019].

BlueSol. (2016). *Os sistemas de energia solar fotovoltaica*. Ribeirão Preto, BlueSol.

CRESESB. (2014). *Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos*. Rio de Janeiro, Ediouro.

Energia Solar Fotovoltaica: Vantagens e Desvantagens. ElecktSolar innovations.

Disponível em: < <https://elektsolar.com.br/energia-solar-fotovoltaica-vantagens-e-desvantagens/> >. [Consultado em 29/10/2018].

European comission. (s.d.). *Análise da radiação incidente*. Disponível em: <

http://re.jcr.ec.europa.eu/pvgis/about_pvgis.htm>. [Consultado em 23/08/2019].

Global Market Outlook for Photovoltaics 2014 – 2018. Disponível em: <

www.epia.org>. [Consultado em 06/09/2019]

Manual das Baterias Recarregáveis, Pilhas e carregadores. Sta-eletronica. Disponível

em: < <https://www.sta-eletronica.com.br/> >. [Consultado em 18/08/2019].

PVGIS. (s.d.). *Dados da radiação incidente*. Disponível em: <

<http://re.jcr.ec.europa.eu/pvgis/apps4/pvest.php?map=africa>>. [Consultado em

24/08/2019].

Ramos, K, Corrêa, L, Ferreira, P. (2010). *Carregador solar: energia solar fotovoltaica*. (1ª ed.). Bolsista de Valor.

Ruther, R. (2004). *Edifícios Solares Fotovoltaicos*. Florianópolis. UFSC.

Solar Skins: an opportunity for greener cities. Disponível em: <

www.solarpowereurope.org>.[Consultado em 06/09/2019].

Souza, P., Silva, P. (2012). *Fontes de tensão reguladas*. São José, Instituição Federal Santa Catarina.